

## Utilização da Espectroscopia de Ressonância Paramagnética Eletrônica para Avaliar a Presença de Impurezas em Adubos Orgânicos

Marcelo Luiz Simões<sup>1</sup>  
Wilson Tadeu Lopes da Silva<sup>2</sup>  
Sérgio da Costa Saab<sup>3</sup>  
Lucimar Lopes Fialho<sup>4</sup>  
Ladislau Martin-Neto<sup>5</sup>

### Introdução

O interesse pela produção de adubos orgânicos no Brasil tem aumentado significativamente nos últimos anos devido, principalmente, à busca de alternativas de manejo do solo com enfoque orgânico e com aspectos distintos do sistema convencional de uso intensivo de fertilizantes químicos. Este interesse está estreitamente relacionado à expansão do mercado de produtos orgânicos que, segundo a Associação de Agricultura Orgânica (AAO), já havia faturado US\$ 150 milhões em 1999. De acordo com a AAO, produtos orgânicos são aqueles em que o sistema de produção exclui o uso de fertilizantes sintéticos de alta solubilidade e agrotóxicos. Neste sentido, torna-se importante a caracterização dos adubos orgânicos, tanto com relação ao material de origem, que pode conter metais pesados (TOMATI et al., 2002), como para definir qual a função no solo dos inúmeros produtos já disponíveis no mercado. No entanto, constata-se que existe uma demanda por uma regulamentação mínima que estabeleça um padrão de qualidade dos materiais produzidos. Por exemplo, a revista Globo Rural de outubro de 1996, páginas 29 a 33, relatou que produtores de húmus de minhoca estão encontrando competidores que claramente adulteram seus produtos com o intuito de aumentar a produtividade. A adulteração inclui a mistura de solos (os quais não possuem as propriedades químicas e físicas

necessárias para serem considerados adubos orgânicos) ao produto original, descaracterizando a ação primordial do produto que é de aumentar a fertilidade e/ou ser um condicionador do solo.

A humificação é definida como a transformação de fontes estruturalmente identificáveis (açúcares, polissacarídeos, proteínas etc.) em compostos húmicos amorfos, sendo que o grau de humificação é um parâmetro importante para determinação da qualidade da matéria orgânica do solo (MOS) (ZECH et al., 1997; BAYER et al., 2002). Em relação à resposta de uma dada cultura, quanto à sua nutrição, a diferença entre se aplicar diretamente resíduos orgânicos estabilizados e não estabilizados (p. ex., proveniente da compostagem) está na quantidade e época em que os nutrientes mineralizados estarão disponíveis para as plantas, assim como na intensidade com que ativam os microrganismos do solo. No caso de adubos orgânicos que têm como objetivo aumentar a capacidade de troca catiônica (CTC) do solo, o ideal é a aplicação de material já humificado (PLAZA et al., 2003; GRIGATTI et al., 2004). Além disto, se o composto não estiver estabilizado pode causar efeitos tóxicos para as plantas (ATIYEH et al., 2001).

Há várias formas pelas quais o grau de humificação pode ser inferido (DELL'ABATE et al., 1998; LEIFELD et al., 2002; MONDINI et al., 2003), sendo que uma das mais utilizadas é por meio do conhecimento da

<sup>1</sup> Físico, Dr., Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, marcelo@cnpdia.embrapa.br.

<sup>2</sup> Químico, Dr., Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, wilson@cnpdia.embrapa.br.

<sup>3</sup> Físico, Dr., Departamento de Física, UEPG, Av. Carlos Cavalcanti 4748, CEP 84030-900, Ponta Grossa, PR, scsaab@uepg.br.

<sup>4</sup> Química, Mestre, USP, Av. Trabalhador São-Carlense, 400, CEP 13560-970, São Carlos, SP, lucimar@cnpdia.embrapa.br.

<sup>5</sup> Físico, Dr., Embrapa Instrumentação Agropecuária, C.P. 741, CEP 13560-970, São Carlos, SP, martin@cnpdia.embrapa.br.

razão atômica carbono/nitrogênio (C/N), sendo que quanto menor essa razão maior o grau de humificação (NICOLARDOT et al., 2001). No entanto, esta razão além de não ser precisa (JIMÉNEZ e GARCIA, 1989) devido à sua alta variabilidade, o que pode estar relacionado aos diferentes tipos de materiais de origem (HIRAI et al., 1983), ela pode ser alterada com a adição de compostos nitrogenados. Outro método é baseado na determinação da concentração de radicais livres orgânicos (RLO) obtida por meio da espectroscopia de ressonância paramagnética eletrônica (RPE) (RIFFALDI e SCHNITZER, 1972; SCHNITZER e LEVESQUE, 1979; MARTIN-NETO et al., 1998; JERZYKIEWICZ et al., 1999; SAAB e MARTIN-NETO, 2003). Nas substâncias húmicas constituintes estáveis da MOS uma das prováveis fontes dos RLO são os grupos semiquinonas (Stevenson, 1994), sendo que essa informação pode também se tornar um parâmetro de qualificação e distinção para adubos orgânicos. Além disso, Novotny e Martin-Neto (2002), mostraram que a presença de íons paramagnéticos, tais como  $\text{Fe}^{3+}$ , provocou alterações na concentração de RLO.

Baseando-se nessas informações, este trabalho teve como objetivos: avaliar a possibilidade de utilização da técnica de RPE, por meio da quantificação de RLO, como método de qualificação de adubos orgânicos; e detectar adulterações providas principalmente da adição de solos.

## Material e Métodos

Foram utilizadas dez amostras de adubos orgânicos, as quais são enumeradas e apresentadas suas origens e descrições e/ou aplicações no Quadro 1.

Para verificar a sensibilidade da técnica na determinação de possíveis adulterações, dois tipos de solos (Quadro 2) foram adicionados a duas amostras (6 e 7). Nas adições (adubos + solos) obteve-se uma massa total de aproximadamente 20 g nas seguintes porcentagens de solos: 1; 5; 10 e 20% (massa/massa). Após a adição as amostras foram agitadas com o equipamento Vribrating mill marca Perkin-Elmer e analisadas por RPE.

Os espectros de RPE foram adquiridos em um espectrômetro marca Bruker EMX, operando em banda X (9 GHz), à temperatura ambiente. Para análise quantitativa, tubos de quartzo foram preenchidos com amostras de adubos orgânicos anotando-se as respectivas massas para posterior normalização dos dados. Para a obtenção das áreas dos sinais foi utilizada a aproximação  $I \times (H_{pp})^2$  (POOLE, 1967), onde  $I$  é a intensidade do sinal e  $H_{pp}$  é a largura do sinal, tomada pico a pico (Figura 1a). Para determinação da concentração relativa dos RLO utilizou-se o método do padrão secundário com um cristal de rubi (SINGER, 1959) e o padrão "strong pitch" da Bruker com conhecida concentração de spins. Para eliminar a interferência da fração mineral quando da obtenção dos parâmetros espectrais e, portanto, na quantificação dos RLO, foram realizadas análises de RPE dos solos nos quais a matéria orgânica foi calcinada em mufla a 600 °C por 2 horas. O objetivo desse procedimento foi obter somente o espectro da fração mineral, que foi subtraído dos espectros das amostras que continham os adubos orgânicos misturados com os solos. Para a subtração espectral foi utilizado o software WINEPR SimFonia da Bruker. Os parâmetros experimentais foram: potência das microondas: 0,2 mW, determinada por experimento de saturação de potência; frequência de modulação: 100 kHz; amplitude de modulação: 0,08 mT; constante de tempo: 2,56 ms e tempo de conversão: 10,24 ms. As análises foram realizadas em duplicata para obtenção do desvio médio com, no mínimo, duas varreduras por determinação. Para obtenção do valor do fator  $g$  utilizou-se um capilar contendo  $\text{Cr}^{3+}$  em uma estrutura cristalina de MgO com conhecido valor do fator  $g$  (1,9797). Este capilar foi colocado dentro do tubo de quartzo contendo amostra a ser determinado o valor do fator  $g$  para garantir a aquisição dos sinais do  $\text{Cr}^{3+}$  e do RLO na mesma frequência de microondas (WEIL et al., 1994).

## Resultados e Discussão

A Figura 1a apresenta um espectro representativo de RPE das amostras de adubos orgânicos (amostra 7). Nessa figura é mostrado o sinal característico do RLO com  $H_{pp}$

Quadro 1. Origem e descrição e/ou aplicação dos adubos orgânicos.

Amostra	Origem	Descrição e/ou Aplicação
1	Sistema de biodigestão-produto não comercial	Composto orgânico biodigerido
2	Produto comercial	Esterco bovino p/uso em flores e folhagens
3	Produto comercial importado	Ácidos húmicos e fúlvicos de turfa
4	Produto comercial	Composto orgânico utilizado em culturas de macadâmia
5	Produto comercial	Composto orgânico decomposto em presença de minhocas
6	Produto não comercial	Composto orgânico de Leonardita
7	Produto comercial	Condicionador do solo
8	Produto comercial	Substrato orgânico para mudas de hortaliças
9	Produto comercial	Terra vegetal adubada p/plantas, vasos e jardins
10	Produto não comercial	Composto obtido da mistura de poda de árvore e bagaço de laranja

Quadro 2. Características granulométricas, teores de ferro (Fe) disponível e total e matéria orgânica (MO) dos solos utilizados.

Tipo de solo	Identificação	Argila (g Kg <sup>-1</sup> )	Silte (g Kg <sup>-1</sup> )	Areia total (g Kg <sup>-1</sup> )	Fe disponível (mg Kg <sup>-1</sup> )	Fe total (g Kg <sup>-1</sup> )	MO (g dm <sup>-3</sup> )
Latossolo Vermelho	S1	426	61	513	31	98,02	22
Latossolo Amarelo	S2	141	40	819	74	1,43	17

em torno de 0,4 mT e  $g \sim 2,0035$ , estando estes valores próximos dos normalmente encontrados na literatura para ácidos húmicos e fúlvicos (SENESI, 1990). A figura 1b mostra o aumento da concentração de RLO nos ácidos húmicos extraídos de composto produzido pela mistura de poda de árvore com bagaço de laranja em função do tempo de compostagem. Esse dado confirma a possibilidade de utilização da espectroscopia de RPE para determinação do grau de humificação, de acordo com os dados obtidos por Martin-Neto et al. (1991); Martin-Neto et al. (1994); Martin-Neto et al. (1998); Ceretta et al. (1999); Olk et al. (2000); Dick et al. (2002); Pajaczkowska et al. (2003); Perez et al. (2004), que observaram o aumento da concentração de RLO com o avanço da humificação.

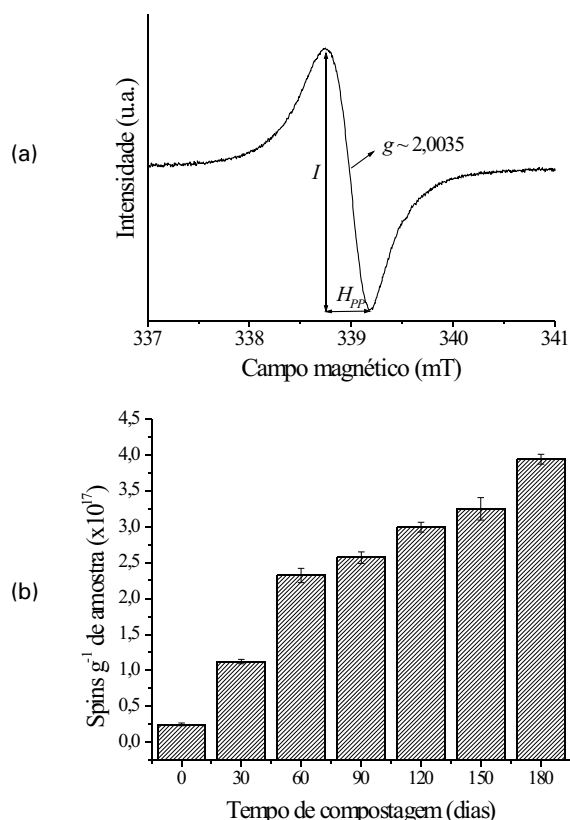


Figura 1. Espectro característico de RPE dos adubos orgânicos (amostra 7) mostrando o sinal do RLO (a) e concentração de RLO dos ácidos húmicos (amostra 10) em função do tempo compostagem (b).

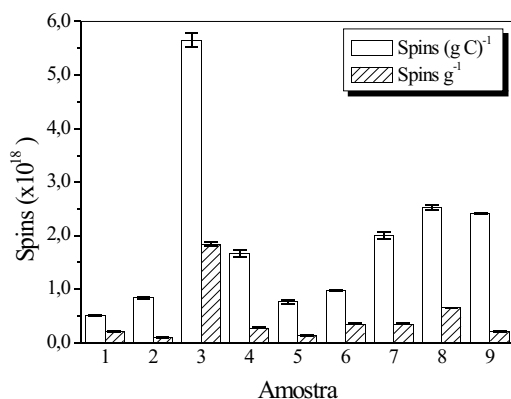


Figura 2. Concentração de RLO, em spins por grama de amostra (spins g<sup>-1</sup>) e por grama de carbono (spins (g C<sup>-1</sup>)) dos adubos orgânicos.

A Figura 2 apresenta os valores obtidos para a concentração de RLO em spins por grama de amostra (spins g<sup>-1</sup>) e por grama de carbono (g C)<sup>-1</sup> para os adubos orgânicos enumerados de 1 a 9 (Quadro 1). Estes dados mostram a seletividade da técnica e o seu potencial para diferenciar as amostras quanto à concentração de RLO, onde se observa uma grande variação entre os valores obtidos; o maior valor foi para a amostra 3 que apresentou uma ordem de grandeza 10<sup>18</sup>, diferentemente da amostra 1 que apresentou uma quantidade 10 vezes inferior.

A determinação da concentração de RLO do solo S1 não foi possível, provavelmente devido à presença de materiais ferromagnéticos, como o óxido de ferro (Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), o que é sugerido pela grande quantidade de ferro total (Quadro 2). A presença destes materiais impossibilitou a análise quantitativa por não permitir um ajuste adequado do equipamento de RPE. A adição desse solo à amostra 6 causou no sinal do RLO uma deformação da linha de base do sinal (Figura 3a) e um aumento da  $H_{pp}$  (Figura 3b). Estas duas alterações são atribuídas ao surgimento de uma linha larga centrada em  $g \sim 2,2$  (dado não apresentado) gerada pela superposição de linhas decorrentes de interações dipolares entre materiais ferromagnéticos (GUIMARÃES et al., 2001). Contudo, não se exclui a possibilidade de um alargamento espectral associado com o aumento da taxa de relaxação por interação dipolar (NOVOTNY e MARTIN-NETO, 2002).

Com relação à variação na concentração de RLO em função da porcentagem de solo adicionado não se obteve dados conclusivos (dado não apresentado), de maneira que essa variável possa ser utilizada, de forma confiável, como um parâmetro de detecção de adulteração quando da adição de solos contendo materiais ferromagnéticos.

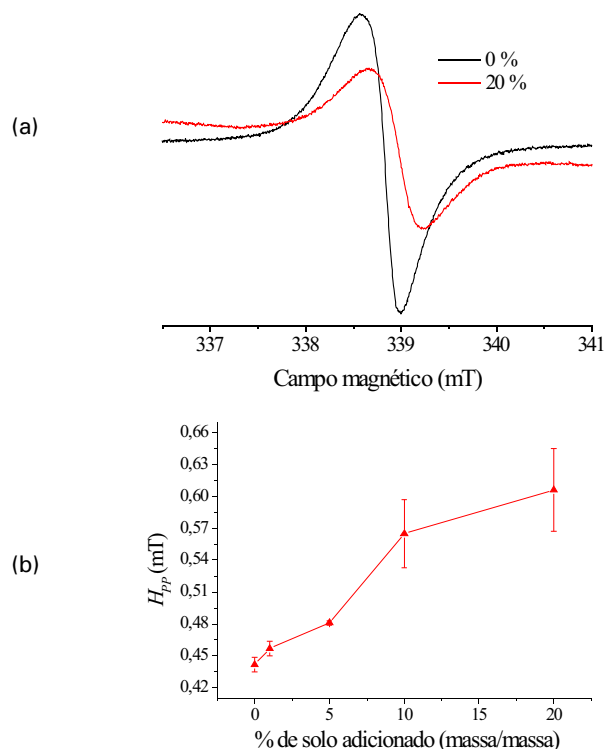


Figura 3. Espectros de RPE da amostra 6 com diferentes porcentagens de solo adicionado (S1) à amostra (a). Largura de linha do sinal ( $H_{pp}$ ) em função da porcentagem do solo S1 adicionado à mesma amostra (b).

O valor da concentração de RLO para S2 foi de  $4,0 \times 10^{15}$  spins  $g^{-1}$ , valor este bastante abaixo dos obtidos para as amostras de adubos orgânicos. A adição deste solo à amostra 6 não causou distorção na linha de base do espectro e nem alterações significativas na  $H_{pp}$ , diferentemente de quando adicionado o solo S1 (dados não apresentados). Isso se deve provavelmente à baixa concentração ferro total (Quadro 2) e, conseqüentemente, de materiais ferromagnéticos nesse tipo de solo. No entanto, foi possível observar uma diminuição na concentração de RLO da amostra 6 com adição deste solo (Figura 4). O decréscimo não foi diretamente proporcional à porcentagem de solo adicionado, o que pode estar relacionado com o fato de que S2 também possui RLO e com a não obtenção de uma mistura totalmente homogênea entre os dois compostos.

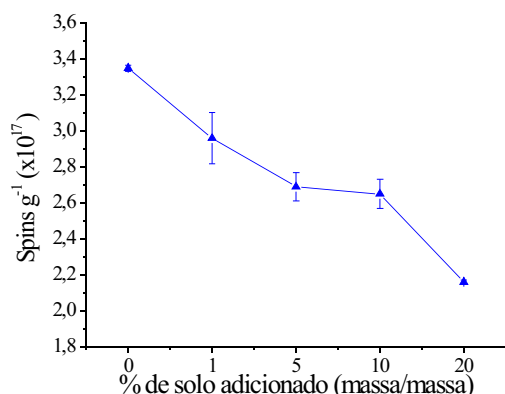


Figura 4. Concentração de RLO (em spins  $g^{-1}$ ) em função da porcentagem de solo adicionado (S2) à amostra 6.

Além da diminuição de RLO, o surgimento de novos sinais pode ser um outro indicio da presença de impurezas, já que um novo sinal foi detectado quando da adição de S2, sendo este atribuído ao quartzo ( $SiO_2$ ). O sinal do quartzo apresenta uma linha fina ( $H_{pp} = 0,1$  mT) em  $g = 2,0000$  (BERSOHN e BAIRD, 1966), valores estes diferentes do RLO, ou seja, os sinais têm formas e posições diferentes nos espectros, possibilitando a detecção e diferenciação dos mesmos. Os resultados (Figura 5) mostraram que foi possível a detecção do quartzo quando adicionados no mínimo 10% de S2 e ajustado nos parâmetros experimentais de análise a constante de tempo igual ao tempo de conversão para aumentar a relação sinal/ruído. Além disso, foi utilizado baixo valor de potência das microondas (10 W), já que o radical livre relacionado ao quartzo possui pouca interação com o meio onde está localizado, resultando em uma saturação do sinal em baixa potência. Apesar de menos preciso, o surgimento desse novo sinal é um dado que pode ser utilizado para detecção de impurezas contendo quartzo.

A utilização direta desses resultados em outras amostras de adubo orgânico não é factível, já que as variações observadas dependeram das características dos solos adicionados. Contudo, vale ressaltar que para ambos os solos e em todas as adições realizadas, não era possível detectar diferenças visuais (a olho nu) entre a amostra original e aquelas onde foram adicionados os solos. Além disso, as alterações espectroscópicas observadas foram similares entre as duas amostras utilizadas (6 e 7), mostrando a potencialidade da espectroscopia de RPE como uma ferramenta para

qualificação de adubos orgânicos. Além disso, a metodologia aplicada passa a ter maior confiabilidade quando se conhece previamente o processo de compostagem pelo qual o adubo orgânico passou e se tenha, então, uma amostra padrão caracterizada espectroscopicamente.

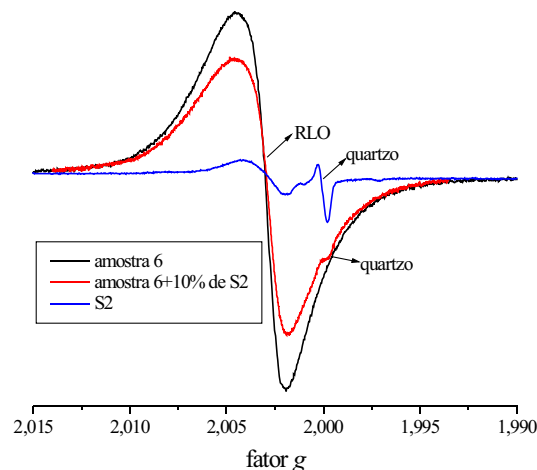


Figura 5. Espectros de RPE da amostra 6, da amostra 6 + 10% de solo (S2) e somente de S2.

## Conclusões

No que tange à necessidade de parâmetros que permitam a padronização e qualificação de adubos orgânicos, os resultados obtidos mostraram que a concentração de RLO pode ser utilizada para diferenciar as amostras de adubos orgânicos, havendo significativa variação deste parâmetro entre as amostras de adubos orgânicos.

As alterações espectrais com relação ao sinal do RLO, como: deformação da linha de base; alteração na largura de linha ( $H_{pp}$ ); variação na concentração de spins e surgimento de novos sinais, permitiram detectar adulterações, provenientes da adição de solos, nas amostras de adubos orgânicos.

De forma geral, a espectroscopia de RPE mostrou-se ser uma ferramenta viável para avaliação da qualidade de adubos orgânicos, no que se refere ao grau de humificação. No entanto, é importante associar os resultados fornecidos por RPE com o conhecimento prévio do processo de compostagem pelo qual o adubo orgânico passou e se tenha, então, uma amostra padrão caracterizada como referência. Dessa forma, qualquer modificação nos parâmetros espectroscópicos em relação à amostra referência pode ser um indicativo de alteração da qualidade do material analisado.

## Agradecimentos

À Embrapa Pecuária Sudeste pelas análises dos solos.

## Referências Bibliográficas

- ATIYEH, R. M.; EDWARDS, C. A.; SUBLER, S.; METZGER, J. D. Pig manure vermicompost as a component of a horticultural bedding plant medium: effects on physicochemical properties and plant growth. *Biores. Technol.*, [S. L.], v. 78, p. 11-20, 2001.



- BAYER, C.; MIELNICZUK, J.; MARTIN-NETO, L.; ERNANI, P. R. Stocks and humification degree of organic matter fractions as affected by no-tillage on a subtropical soil. **Plant and Soil**, The Hague, v. 238, p. 133-140, 2002.
- BERSOHN, M.; BAIRD, J.C. **An introduction to electron paramagnetic resonance**. New York: W.A. Benjamin, 1966. 272 p.
- CERETTA, C. A.; BAYER, C.; DICK, D. P.; MARTIN-NETO, L.; COLNAGO, L. A. Métodos espectroscópicos. In: SANTOS, G. A.; CAMARGO, F. A. O. (Eds.). **Fundamentos da matéria orgânica do solo: ecossistemas tropicais e subtropicais**. Porto Alegre: Gênese, 1999. 491p.
- DELL'ABATE, M.T.; CANALI, S.; TRINCHERA, A.; BENEDETTI, A.; SEQUI, P. Thermal analysis in the evaluation of compost stability: a comparison with humification parameters. **Nutr. Cycl. Agroec.**, [S. L.], v. 51, p. 217-224, 1998.
- DICK, D. P.; MANGRICH, A. S.; MENEZES, S. M. C.; PEREIRA B. F. Chemical and spectroscopical characterization of humic acids from two south Brazilian coals of different ranks. **J. Braz. Chem. Soc.**, São Paulo, v. 13, n. 2, p. 177-182, 2002.
- GRIGATTI, M.; CIAVATTA, C.; GESSA, C. Evolution of organic matter from sewage sludge and garden trimming during composting. **Biores. Technol.**, [S. L.], v. 91, p. 163-169, 2004.
- GUIMARÃES, E.; MANGRICH, A. S.; MACHADO, V. G.; TRAGHETTA, D. G.; LOBO, M. A. Criterious preparation and characterization of earthworm-composts in view of animal waste recycling. Part II. A synergistic utilization of EPR and H-1 NMR spectroscopies on the characterization of humic acids from vermicomposts. **J. Braz. Chem Soc.**, São Paulo, v. 12, p. 734-741, 2001.
- HIRAI, M.; CHANYASAK, V.; KUBOTA, H. A standard measurement for compost maturity. **Biocycle**, Emmaus, v. 24, p. 54-56, 1983.
- JERZYKIEWICZ, M.; DROZD, J.; JEZIERSKI, A. Organic radicals and paramagnetic metal complexes in municipal solid waste composts. An EPR and chemical study. **Chemosphere**, Oxford, v. 39, p. 253-268, 1999.
- JIMÉNEZ, E.I.; GARCIA, V. P. Evaluation of city refuse compost maturity: a review. **Biol. Wastes**, Barking, v. 27, p. 115-142, 1989.
- LEIFELD, J.; SIEBERT, S.; KOGEL-KNABNER, I. Changes in the chemical composition of soil organic matter after application of compost. **Eur. J. Soil Sci.**, Oxford, v. 53, p. 299-309, 2002.
- MARTIN-NETO, L.; NASCIMENTO, O. R.; TALAMONI, J.; POPPI, N. R. EPR of micronutrients-humic substance complexes extracted from brazilian soil. **Soil Sci.**, Baltimore, v. 151, p. 369-376, 1991.
- MARTIN-NETO, L.; ANDRIULLO, A. E.; TRAGHETTA, D. G. Effects of cultivation on ESR spectra of organic matter from soil size fractions of a mollisol. **Soil Sci.**, Baltimore, v. 157, p. 365-372, 1994.
- MARTIN-NETO, L.; ROSELL, R.; SPOSITO, G. Correlation of spectroscopic indicators of humification with mean annual rainfall along a temperate grassland climosequence. **Geoderma**, Amsterdam, v. 81, p. 305-311, 1998.
- MONDINI, C.; DELL'ABATE, M. T.; LEITA, L.; BENEDETTI, A. An integrated chemical, thermal, and microbiological approach to compost stability evaluation. **J. Environ. Qual.**, Madison, v. 32, p. 2379-2386, 2003.
- NICOLARDOT, B.; RECOUS, S.; MARY, B. Simulation of C and N mineralisation during crop residue decomposition: a simple dynamic model based on the C:N ratio of the residues. **Plant and Soil**, The Hague, v. 228, p. 83-103, 2001.
- NOVOTNY, E. H.; MARTIN-NETO, L. Effects of humidity and metal ions on the free radicals analysis of peat humus. **Geoderma**, Amsterdam, v. 106, p. 305-317, 2002.
- OLK, D.C.; BRUNETTI, G.; SENESI, N. Decrease in humification of organic matter with intensified lowland rice cropping: a wet chemical and spectroscopic investigation. **J. / Soil Sci. Soc. Am.**, Madison, v. 64, p. 1337-1347, 2000.
- PAJACZKOWSKA, J.; SULKOWSKA, A.; SULKOWSKI, W. W.; JEDRZEJCZYK, M. Spectroscopy study of the humification process during sewage sludge treatment. **J. Molec. Struct.**, Amsterdam, v. 651-653, p. 141-149, 2003.
- PEREZ, M. G.; MARTIN-NETO, L.; SAAB, S. C.; NOVOTNY, E. H.; MILORI, D. M. B. P.; BAGNATO, V. S.; COLNAGO, L. A.; MELO, W.J.; KNICKER, H. Characterization of humic acids from a Brazilian Oxisol under different tillage systems by EPR, C-13 NMR, FTIR and fluorescence spectroscopy. **Geoderma**, Amsterdam, v. 118, n. 3-4, p. 181-190, 2004.
- PLAZA, C.; SENESI, N.; POLO, A.; BRUNETTI, G.; GARCIA-GIL, J.C.; D'ORAZIO, V. Soil fulvic acid properties as a means to assess the use of pig slurry amendment. **Soil Till. Res.**, Amsterdam, v. 74, p. 179-190, 2003.
- POOLE Jr., C. P. **Electron spin resonance: a comprehensive treatise on experimental techniques**. New York: Wiley-Interscience, 1967. 921 p.
- RIFFALDI, R.; SCHNITZER, M. Electron spin resonance spectrometry of humic substances. **J. / Soil Sci. Soc. Am.**, Madison, v. 36, p. 301-305, 1972.
- SAAB, C. S.; MARTIN-NETO, L. Use of the EPR technique to determine thermal stability of some humified organic substances found in soil organic-mineral fractions. **Química Nova**, São Paulo, v. 26, p. 497-498, 2003.
- SCHNITZER, M.; LEVESQUE, M. Electron spin resonance as a guide to the degree of humification of peats. **Soil**

Sci., Baltimore, v. 127, n. 3, p. 140-145, 1979.

SENESI, N. Application of electron spin resonance (ESR) spectroscopy in soil chemistry. Adv. **Soil. Sci.**, Baltimore, v. 14, p. 77-130, 1990.

SENESI, N.; STEELINK, C. Application of ESR spectroscopy to the study of humic substances. In: HAYES, M. H. B.; MacCARTHY, P., MALCOLM, R. L.; SWIFT, R. S. **Humic substances II.**: In search of structure. [S. l.]: Wiley, 1989. p. 373-407.

SINGER, L. S. Synthetic ruby as a secondary standard for the measurement of intensities in electron paramagnetic resonance. **J. Appl. Phys.**, London, v. 30, p. 1463-1464, 1959.

STEVENSON, F. J. **Humus chemistry**: genesis, composition, reactions. New York: J. Wiley, 1994. 496 p.

TOMATI, U.; BELARDINELLI, M.; ANDREU, M.; GALLI, E.; CAPITANI, D.; PROIETTI, N.; De SIMONE, C. Evaluation of commercial compost quality. **Waste Manag. Res.**, London, v. 20, n. 5, p. 389-397, 2002.

WEIL, J. A.; BOLTON, J. R.; WERTZ, J.E. **Electron paramagnetic resonance**: elementary theory and practical applications. New York: Wiley, 1994. 568 p.

ZECH, W.; SENESI, N.; GUGGENBERG, G.; KAISER, K.; LEHMANN, J.; MIANO, T. M.; MILTNER, A.; SCHROTH, G. Factors controlling humification and mineralization of soil organic matter in the tropics. **Geoderma**, Amsterdam, v. 79, p. 117-161, 1997.

## Comunicado Técnico, 67

Ministério da Agricultura,  
Pecuária e Abastecimento

Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:

**Embrapa Instrumentação Agropecuária**  
Rua XV de Novembro, 1542 - Caixa Postal 741  
CEP 13560-970 - São Carlos-SP

**Fone:** 16 3374 2477

**Fax:** 16 3372 5958

**E-mail:** sac@cnpdia.embrapa.br  
www.cnpdia.embrapa.br

**1a. edição**

1a. impressão 2005: tiragem 300

## Comitê de Publicações

**Presidente:** Dr. Carlos Manoel Pedro Vaz  
**Secretária Executiva:** Valéria de Fátima Cardoso  
**Membros:** Dra. Débora Marcondes B. P. Milori,  
Dr. João de Mendonça Naime,  
Dr. Washington Luiz de Barros Melo

**Membro Suplente:** Dr. Paulo S. P. Herrmann Junior

## Expediente

**Supervisor editorial:** Dr. Victor Bertucci Neto  
**Revisão de texto:** Dr. Victor Bertucci Neto  
**Normalização bibliográfica:** Valéria de Fátima Cardoso  
**Tratamento das ilustrações:** Valentim Monzane  
**Editoração eletrônica:** Valentim Monzane